DOI: 10.22092/spj.2023.362024.1305

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۳، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی ارقام چغندرقند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹

Evaluation of White Sugar Yield Stability of Some Commercially Released Sugar Beet Cultivars in Iran from 2011-2020

سعید صادق‌زاده حمایتی[۱*]، علی صارمی‌راد[۲]، مصطفی حسین‌پور[۳]، علی جلیلیان[۴]، مسعود احمدی[۵]، حیدر عزیزی[۶]، حسن حمیدی[۷]، فرحناز حمدی[۸] و فرشید مطلوبی اقدم[۹]

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲، ۸ و ۹- پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۵- دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۶- استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
۷- پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۴

چکیده

صادق‌زاده حمایتی، س.، صارمی‌راد، ع.، حسین‌پور، م.، جلیلیان، ع.، احمدی، م.، عزیزی، ح.، حمیدی، ح.، حمدی، ف. و مطلوبی اقدم، ف. ۱۴۰۱: ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی ارقام چغندرقند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۳۳۹-۳۶۴.

افزایش عملکرد و پایداری آن در طیفی از شرایط محیطی هدف، یکی از اصلی‌ترین اهداف برنامه های به نژادی محصولات زراعی است. در این پژوهش، پایداری عملکرد شکر نه رقم چغندرقند آزادسازی شده تجاری در ایران از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ به همراه یک شاهد خارجی در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل، کرج، کرمانشاه، مشهد، میاندوآب و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به مدت چهار سال متوالی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر سال، مکان و ژنوتیپ و برهمکنش‌های سال × مکان، ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد شکر سفید ($p \leq 0.01$) معنی دار بود. تجزیه اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان داد که هفت مؤلفه اول معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بودند. بر اساس بای‌پلات AMMI1 ارقام آسیا، شکوفا و آرتا به ترتیب به عنوان پایدارترین ارقام شناخته شدند. نتایج مدل خطی مخلوط نشان داد که اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. بر اساس مدل BLUP ارقام پرفکتا، آسیا و شکوفا به ترتیب دارای بیشترین مقدار میانگین پیش‌بینی‌شده عملکرد شکر سفید بودند. بای‌پلات عملکرد شکر سفید با شاخص WAASB نشان داد که ارقام آسیا، آرتا و شکوفا علاوه بر پایداری عملکرد شکر سفید، ارزش عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین کل داشتند. بر اساس گروه‌بندی ارقام از نظر شاخص WAASB به عملکرد شکر سفید، ارقام آرتا، آسیا و شکوفا به‌عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند. رتبه‌بندی و گزینش هم‌زمان ارقام برای شاخص پایداری WAASB و عملکرد شکرسفید نتایج مشابهی به همراه داشت، به‌طوری که رقم آسیا بیشترین شاخص WAASBY و پس از آن ارقام شکوفا و آرتا در رتبه های بعدی قرار گرفتند. بر این اساس ارقام آسیا، شکوفا و آرتا به‌عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند.

واژه های کلیدی: چغندرقند، آزمون درست‌نمایی، مدل خطی مخلوط، گزینش همزمان، مؤلفه اصلی.

* نگارنده مسئول: azeinanloo@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۲۶۱۳

مقدمه

چغندرقند پس از نیشکر دومین محصولی است که در جهان با هدف تولید شکر سفید برای مصرف انسان کشت می‌شود. ریشه این گیاه حاوی درصد بالایی از ساکارز است که ماده اولیه اصلی برای تولید شکر را تأمین می‌کند. تولید سالانه ریشه چغندرقند حدود ۲۷۸ میلیون تن است (FAO, 2021) که برای استخراج شکر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کشورهای مختلفی در تولید شکر از چغندرقند پیشرو هستند، ولی اتحادیه اروپا یک تولیدکننده بزرگ است که حدود ۵۰ درصد از کل شکر در جهان را تولید می‌کند (European Commission, 2021).

پیش‌بینی می شود که به دلیل نگرانی‌ها در مورد تغییرات آب و هوایی و لزوم مرحله گذر از مصرف سوخت‌های فسیلی به سمت سوخت‌های تجدیدپذیر، بازار جدیدی برای شکر در حال ظهور است، زیرا هم محققان و هم تولیدکنندگان تلاش می‌کنند تا استفاده از ساکارز را به صنایع فراتر از محصولات غذایی گسترش دهند. شکر حاصل از چغندرقند به‌عنوان ماده خام برای تولید سوخت‌های زیستی به‌ویژه اتانول است که می‌توانند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود (Salazar-Ordóñez *et al.*, 2013). در یک جامعه عاری از سوخت‌های فسیلی، منابع زیست‌توده باید به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که به معنای استفاده از زباله‌ها و پسماندها برای تولید محصولات زیستی است و در عین حال تأمین مواد غذایی را تضمین می‌کند (European Commission, 2018; Mohr and Raman, 2013).

صنعت قند چغندری مقادیر قابل توجهی از محصولات جانبی تولید می‌کند که می‌توانند به طرق مختلف ارزش‌گذاری شوند. ریشه چغندرقند علاوه بر ۱۸ تا ۲۰ درصد قند (Dohm *et al.*, 2014)، حاوی ۷۵ درصد آب و پنج درصد تفاله (Anonymous, 1999) است. به‌طور معمول، محصولات جانبی مانند تفاله چغندرقند به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده بخشی از خوراک دام استفاده می‌شود، در حالی که ملاس عمدتاً برای تولید الکل، خوراک دام یا به‌عنوان محیطی برای تولید مخمر به کار برده می‌شود (Duraisam *et al.*, 2017). اگرچه این محصولات جانبی هنوز برای این اهداف استفاده می‌شوند، اما در حال حاضر مواد اولیه قابل توجهی برای کاربردهای جدید هستند (Olmos and Hansen, 2012).

نمونه‌هایی از این کاربردها شامل استفاده از خمیر چغندرقند برای تولید سوخت‌های زیستی از طریق روش‌های ترموشیمیایی (Nicodème *et al.*, 2018) یا از طریق تخمیر (Gumienna *et al.*, 2014) و تولید مواد شیمیایی با ارزش‌افزوده و واسطه‌های دارویی می‌باشد (Cárdenas-Fernández *et al.*, 2017). کاربرد ملاس چغندرقند برای تخمیر لاکتیکی (Tomaszewska *et al.*, 2018) یا تولید اتانول (Arshad *et al.*, 2017) از جمله موارد دیگر است. با توجه به اهمیت چغندرقند، اصلاح این

گیاه برای بهبود عملکرد کمی و کیفیت محصول می‌تواند نقش اساسی در تامین و تضمین امنیت انرژی غذایی و حتی انرژی سوختی داشته باشد.

افزایش عملکرد یکی از اصلی‌ترین اهداف به‌نژادگران محصولات زراعی است. مطالعات نشان می‌دهد که ارقام با عملکرد بالا ممکن است همیشه و در همه محیط‌ها عملکرد پایدار نداشته باشند (Rajabi *et al.*, 2022; Saremirad and Taleghani, 2022; Taleghani *et al.*, 2022). زیرا عملکرد تحت تاثیر ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ × محیط قرار می گیرد و با توجه به ماهیت چندژنی آن، شدیداً تحت تأثیر عوامل محیطی است. برهمکنش ژنوتیپ × محیط پدیده‌ای است که به پاسخ مختلف ژنوتیپ‌ها در طیف وسیعی از محیط‌ها اشاره دارد (Kang, 2004; Kang, 1997) و در سطح جهانی توسط همه افرادی که در حوزه به نژادی گیاهان زراعی فعالیت دارند، شناخته شده است. این پدیده، فعالیت های برنامه های به نژادی برای افزایش عملکرد را با چالشی جدی مواجه کرده است.

با وجود اینکه تنوع مکانی و زمانی هر دو بیانگر تنوع محیطی هستند، اما ثبات عملکرد در هر یک، مفهوم متفاوتی برخوردار است. پژوهشگران پایداری عملکرد در بعد مکان را سازگاری و در بعد زمان را پایداری توصیف کرده‌اند. در این بین مفهوم پایداری در طول سال‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است (Lin and Binns, 1988). این مفهوم از نظر کشاورزان نیز مهم تلقی می‌شود (Yan and Kang, 2002). بنابراین، نتایج آزمایش‌های محیطی- زمانی قابل اطمینان است که الگوهای مشاهده‌شده طی چندین سال تکرار پذیر باشند (Lin *et al.*, 2010). در این راستا بررسی گسترده در طول سال‌ها برای برنامه های به نژادی و انتخاب ارقام مفید و ضروری است (Macholdt *et al.*, 2019; Taleghani *et al.*, 2022).

مطالعه جامع برهمکنش ژنوتیپ × محیط نیاز به روش‌های آماری قدرتمند دارد. در این ارتباط روش‌های تجزیه پایداری عملکرد به‌طور مداوم در حال تکامل هستند تا به ارزیابی ژنوتیپ ها و مطالعه مؤلفه‌های برهمکنش محیطی دقت بیشتری بخشند. این روش‌ها به‌طورکلی بر پایه روش‌های تک‌متغیره و چندمتغیره استوار می باشند. در میان روش‌های چندمتغیره مدل آثار اصلی جمع‌پذیر و برهمکنش ضرب‌پذیر (Additive Main Effect and Multiplicative Interaction = AMMI) از اهمیت بالایی برخوردار است. این روش ترکیبی از تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. در مدل AMMI ابتدا با استفاده از تجزیه واریانس معمولی اثر اصلی ژنوتیپ و محیط برآورد می‌شود که آنها را آثار اصلی جمع‌پذیر یا افزایشی می نامند. سپس با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، برهمکنش بین ژنوتیپ × محیط که به آثار برهمکنش ضرب‌پذیر معروف است، مورد تجزیه و تحلیل

قرار می‌گیرد (Gauch, 1992).

علی‌رغم مزایای متعدد مدل AMMI، معایبی نظیر حساسیت به داده‌های پرت (Rodrigues *et al.*, 2016) و عدم موفقیت در تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط (Linear Mixed Effects Model = LMM) (Olivoto *et al.*, 2019b) را می‌توان برای آن برشمرد. روش بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (Best Linear Unbiased Prediction = BLUP) میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها را در مدل‌های مخلوط با کارایی بالایی برآورد می‌کند. بنابراین، می‌تواند ضعف مدل AMMI را در خصوص تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط را برطرف کند. از این‌رو اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b) ویژگی‌های مدل AMMI و BLUP را ترکیب کردند و شاخصی را با عنوان شاخص پایداری میانگین وزنی قدر مطلق ضرایب بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (Weighted Average Absolute Scores of BLUPs = WAASB) برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر معرفی کردند.

چنین ترکیبی از قدرت مدل AMMI و دقت پیش‌بینی مدل BLUP در مطالعات برهمکنش ژنوتیپ × محیط مفید خواهد بود (Olivoto *et al.*, 2019b). اما از آنجایی که به‌نژادگران برای شناسایی و معرفی ارقام جدید هر دو ویژگی عملکرد و پایداری عملکرد را به‌طور همزمان در نظر می‌گیرند تا علاوه بر کاهش اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا گزینش شوند. بنابراین، اولیوتو و همکاران (Olivoto *et al.*, 2019b) با در نظر گرفتن شاخص WAASB به‌عنوان معیاری از پایداری فنوتیپی و نیز عملکرد کمی محصول (Y)، شاخص WAASBY را نیز ارائه کردند که در آن هر دو ویژگی عملکرد و پایداری عملکرد به‌طور همزمان مورد توجه قرار می‌گیرد.

روش‌های آماری ذکرشده در بالا در مطالعات مختلفی به‌منظور گزینش ارقام مناسب گندم (Saremirad *et al.*, 2022)، جو (Ahakpaz *et al.*, 2021)، برنج (Huang *et al.*, 2021)، لوبیا (Mutari *et al.*, 2022)، کاساوا (Koundinya *et al.*, 2021) و چغندرقند (Rajabi *et al.*, 2022; Saremirad and Taleghani, 2022; Taleghani *et al.*, 2022) استفاده شده است و نتایج سودمندی حاصل شده است.

هدف این پژوهش استفاده از رهیافت های جدید، که به روش‌های تجزیه پایداری عملکرد اضافه شده است، برای ارزیابی پایداری عملکرد شکر سفید برخی از ارقام چغندرقند آزادسازی شده از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ در ایران، بود.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر تعداد نه رقم تجاری چغندرقند به همراه یک رقم شاهد خارجی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). ارقام چغندر قند به مدت چهار سال زراعی شامل ۱۳۹۷-۱۳۹۶، ۱۳۹۸-۱۳۹۷، ۱۳۹۹-۱۳۹۸

جدول ۱- نام و برخی خصوصیات ارقام چغندرقند

Table 1. Name and some characteristics of sugar beet cultivars

شماره No.	Cultivar name	نام رقم	Characteristics of cultivar	خصوصیات رقم	سال آزاد سازی Year of release	منشاء Origin	Country	کشور
1	Arta	آرتا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2017	SBSI	Iran	ایران
2	Arya	آریا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2015	SBSI	Iran	ایران
3	Asia	آسیا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2020	SBSI	Iran	ایران
4	Ekbatan	اکباتان	Resistant to rhizoctonia	مقاومت به ریزوکتونیا	2013	SBSI	Iran	ایران
5	Motahar	مطهر	Resistant to rhizomania	مقاومت به ریزومانیا	2015	SBSI	Iran	ایران
6	Paya	پایا	Tolerant to drought	تحمل به خشکی	2015	SBSI	Iran	ایران
7	Perfecta (check)	پرفکتا (شاهد)	Resistant to rhizomania	مقاومت به ریزومانیا	2015	LIONSEED	Italy	ایتالیا
8	Sharif	شریف	Resistant to bolting	مقاومت به بولتینگ	2011	SBSI	Iran	ایران
9	Shokofa	شکوفا	Resistant to rhizomania and nematode	مقاومت به ریزومانیا و نماتد	2015	SBSI	Iran	ایران
10	Sina	سینا	Resistant to rhizomania and rhizoctonia	مقاومت به ریزومانیا و ریزکتونیا	2018	SBSI	Iran	ایران

SBSI: Sugar Beet Seed Institute

SBSI: موسسه تحقیقات اصلاح بذر چغندر قند

و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل، کرج، کرمانشاه، مشهد، میاندوآب و مغان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. برخی مختصات جغرافیایی ایستگاه های تحقیقات کشاورزی در جدول ۲ رائه شده است. محیط‌های آزمایشی (ترکیب سال و مکان) درجه قابل توجهی از شرایط متفاوت از لحاظ دما، بارندگی، ساختار خاک و pH خاک را نشان دادند.

جدول ۲- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های تحقیقاتی

Table 2- Geographical coordinates of experimental research stations

کد محیط Environment code	سال Year	ایستگاه تحقیقاتی Research station	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
E1	2018	Ardebil	1377	38°10´ N	48°24´ E
E2	2019				
E3	2020				
E4	2021				
E5	2018	Karaj	1244	35°50´ N	50°52´ E
E6	2019				
E7	2020				
E8	2021				
E9	2018	Kermanshah	1362	34°15´ N	46°48´ E
E10	2019				
E11	2020				
E12	2021				
E13	2018	Mashhad	998	36°12´ N	59°39´ E
E14	2019				
E15	2020				
E16	2021				
E17	2018	Miandoab	1294	36°57´ N	46°06´ E
E18	2019				
E19	2020				
E20	2021				
E21	2018	Moghan	67	39°36´ N	47°46´ E
E22	2019				
E23	2020				
E24	2021				

هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به طول ۱۰ متر با فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها درون ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. آزمایش‌ها در هر یک از شش ایستگاه تحقیقاتی و در هر سال اجرای آن به روش نشتی آبیاری شد. زمان شروع آبیاری بر اساس میزان ۹۰ میلی‌متر تبخیر از طشتک تبخیر کلاس A محاسبه و به‌طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها توزیع شد. سایر عملیات داشت شامل مدیریت و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در حد مطلوب و بر اساس توصیه کارشناسان ذیربط انجام شد.

در این پژوهش عملکرد شکر سفید با توجه به اهمیت آن در محصول چغندرقند مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور ابتدا ریشه‌های چغندر قند در هر کرت جمع‌آوری و توزین شدند. پس از شستشوی ریشه‌ها، به‌طور تصادفی با استفاده از دستگاه خودکار ونما (Venema) از ریشه‌های هر کرت آزمایشی نمونه خمیر تهیه شد و در آزمایشگاه کنترل کیفیت در ستاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند در کرج، از نظر درصد قند ناخالص، نیتروژن مضر و عناصر سدیم و پتاسیم مورد بررسی قرار گرفتند (Kunz *et al.*, 2002). در نهایت عملکرد شکر سفید بر اساس رابطه ۱ برآورد شد (Cook and Scott, 1993).

رابطه ۱)

$$WSY = WSC \times RY$$

در رابطه ۱، WSY عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار، WSC درصد قند خالص برحسب گرم قند در ۱۰۰ گرم خمیر ریشه چغندرقند و RY عملکرد ریشه برحسب تن در هکتار است.

پس از بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت (Bartlett, 1937)، تجزیه واریانس مرکب داده با در نظر گرفتن اثر تصادفی برای سال و اثر ثابت برای مکان و ژنوتیپ انجام شد. تجزیه پایداری برای عملکرد شکر سفید ارقام آزمایشی بر اساس مدل AMMI با استفاده از رابطه ۲ انجام شد.

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \theta_r(\beta_e) + \sum_n \lambda_n \alpha_{gn} \gamma_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ge}$$ رابطه ۲)

در رابطه ۲، Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام در تکرار rام است، μ میانگین کل آزمایش، α_g و β_e به ترتیب آثار اصلی ژنوتیپ و محیط، $\theta_e(\beta_r)$ اثر بلوک rام در محیط eام، λ_n مقدار ویژه برای محور مؤلفه اصلی nام، α_{gn} بردار ویژه ژنوتیپ برای محور gام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، γ_{en} بردار ویژه محیط برای محور eام از n مؤلفه اصلی برهمکنش، ρ_{ge} مقدار باقی‌مانده و ε_{ge} مربوط به خطا می‌باشد (Gauch, 1992).

با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم‌افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد و با رسم بای‌پلات‌های آنها، سازگاری عمومی و خصوصی ارقام تعیین شد. برای تجزیه داده‌های آزمایشی، مدل LMM نیز با در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ واثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط به‌صورت تصادفی مورد استفاده قرار گرفت. بررسی معنی‌داری آثار تصادفی با آزمون نسبت درست‌نمایی (Likelihood Ratio Test = LRT) انجام شد. برای هر یک از ارقام، BLUP به‌صورت مجموع میانگین کلیه محیط ها و اثر ژنوتیپی پیش‌بینی شد.

دو شاخص WAASB و WAASBY

حاصل از ترکیب دو مدل AMMI و BLUP نیز برای تعیین درجه پایداری عملکرد شکر سفید ارقام چغندر مورد استفاده قرار گرفتند. شاخص WAASB بر اساس تجزیه ارزش فردی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط با استفاده از ماتریس BLUP و از رابطه ۳ برآورد شد (Olivoto *et al.*, 2019b).

رابطه ۳
$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^{p} \left| IPCA_{ik} \times EP_k \right|}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$$

در رابطه ۳، $WAASB_i$ میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات ژنوتیپ iام، $IPCA_{ik}$ قدر مطلق امتیاز ژنوتیپ iام در مؤلفه برهمکنش kام و EP_k مقادیر واریانس توجیه‌شده توسط مؤلفه برهمکنش kام می‌باشد.

شاخص WAASBY نیز بر اساس میانگین عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Olivoto *et al.*, 2019b).

رابطه ۴:
$$WAASBY_i = \frac{\left\{ W_Y \times \left[\frac{GY_i}{GY_{max}} \right] \times 100 \right\} + \left[W_S \times (100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}}) \right]}{W_Y + W_S}$$

در رابطه ۴، $WAASBY_i$ شاخص گزینش هم‌زمانی میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ iام، W_Y وزن داده شده به عملکرد، GY_i میانگین عملکرد ژنوتیپ iام، GY_{max} بیشترین میانگین عملکرد، W_S وزن داده شده به شاخص WAASB، $WAASB_i$ شاخص WAASB ژنوتیپ iام و $WAASB_{min}$ کمترین مقدار شاخص WAASB محاسبه شده در میان ژنوتیپ‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

آزمون بارتلت، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی را در آزمایش مناطق و سال‌های مختلف تأیید کرد. بنابراین، تجزیه واریانس مرکب داده ها برای بررسی اثر اصلی و اثر برهمکنش‌های بین و درون منابع تغییرات انجام شد. اثر سال، مکان، ژنوتیپ و برهمکنش سال × مکان، ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان تفاوت در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). تغییرات قابل توجه شرایط سال‌ها، مکان‌ها و ارقام آزمایشی ممکن است به تغییرات در شرایط محیطی و ساختار ژنتیکی گیاه نسبت داده شود که از یک محیط به محیط دیگر متفاوت بود. این امر سبب شد تا عملکرد شکر سفید ژنوتیپ‌های چغندرقند از محیطی به محیط دیگر متفاوت باشد.

همین موضوع نشان می دهد که برهمکنش‌های عوامل مختلف در تحقیقات کشاورزی غیر قابل اجتناب است (Sabaghnia *et al.*, 2010; Yan and Kang, 2002). معنی دار شدن اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط در درجه اول این واقعیت را نمایان کرد که ژنوتیپ‌ها به مکان‌های مختلف واکنش متفاوت

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند

Table 3. Combined analysis of variance for white sugar yield of experimental sugar beet cultivars

Source of variation	منبع تغییر	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares
Year (Y)	سال	3	413.63	137.88**
Location (L)	مکان	5	5278.83	1055.77**
Y × L	سال × مکان	15	1974.83	131.66**
Error 1	خطای ۱	72	189.00	2.62
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	980.33	108.92**
G × Y	ژنوتیپ × سال	27	299.08	11.08**
G × L	ژنوتیپ × مکان	45	583.13	12.96**
G × Y× L	ژنوتیپ × سال × مکان	135	957.12	7.09**
Error 2	خطای ۲	648	1221.05	1.88

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

نشان دادند. بنابراین، بر ضرورت ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متنوع تأکید می‌کند. صارمی‌راد و طالقانی (Saremirad and Taleghani, 2022) نشان دادند که اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر ویژگی‌های کمی و کیفیت هیبریدهای چغندرقند را تحت تاثیر قرار داد.

بنابراین، هنگام اصلاح و تولید هیبریدهای جدید چغندرقند باید این موضوع مد نظر قرار گیرد؛ زیرا برآورد اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط این امکان را فراهم میکند تا در خصوص راهبردهای به نژادی برای سازگاری عمومی یا خصوصی که بستگی به عملکرد و پایداری عملکرد ژنوتیپ ها در یک دامنه محدود یا گسترده‌ای از شرایط محیطی دارد، تصمیم‌گیری شود. در این راستا تجزیه به مؤلفه‌های واریانس برای شفاف‌سازی جزئیات برهمکنش ژنوتیپ × محیط کافی نیست. از این‌رو روش‌های آماری چندمتغیره می‌توانند در آشکارسازی، تفسیر و درک بهتر اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط مفیدتر باشند.

با توجه به معنی دار شدن اثر برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان، تجزیه آثار اصلی برهمکنش ضرب‌پذیر انجام شد تا ژنوتیپ‌های درای پایداری عملکرد شکر سفید بر اساس مدل AMMI شناسایی شوند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ، هفت مؤلفه اول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند و مجموعاً ۹۵/۵۰ درصد از تغییرات مربوط به اثر برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان را توضیح داد (جدول ۴). مجموع مربعات باقی‌مانده از مدل AMMI با پایین‌ترین میانگین مربعات غیر معنی‌دار بود که نشان‌دهنده دقت قابل ملاحظه این مدل است.

عمرانی و همکاران (Omrani *et al.*, 2019) نشان دادند که چهار مؤلفه اول مجموعاً

۸۳ درصد از تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد. فتحی و همکاران (Fathi Sadabadi *et al.*, 2018) سهم مؤلفه اصلی اول و دوم اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به ترتیب ۴۹/۱۰ و ۲۲/۵۰ درصد برآورد کردند که این دو مؤلفه توانستند در مجموع ۷۱/۶۰ درصد تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به خود اختصاص دهند. رجبی و همکاران (Rajabi *et al.*, 2022) نشان دادند که شش مؤلفه اول اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط در مجموع ۹۸/۸۰ درصد تغییرات کل برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند.

جدول ۴- تجزیه واریانس برهمکنش ژنوتیپ-محیط برای عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند بر اساس مدل AMMI

Table 4- Analysis of variance of genotype- environment interaction for white sugar yield of sugar beet cultivars based on AMMI model

منبع Source	درجه آزادی d.f.	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean squares	واریانس نسبی Relative variance	واریانس تجمعی Accumulative variance
PC1	31	672.07	21.68**	36.50	36.50
PC2	29	454.12	15.66**	24.70	61.20
PC3	27	218.76	8.10**	11.90	73.10
PC4	25	140.65	5.63**	7.60	80.80
PC5	23	117.16	5.09**	6.40	87.10
PC6	21	86.52	4.12**	4.70	91.80
PC7	19	67.56	3.56**	3.70	95.50
Residual	32	82.49	2.57	4.50	100.00

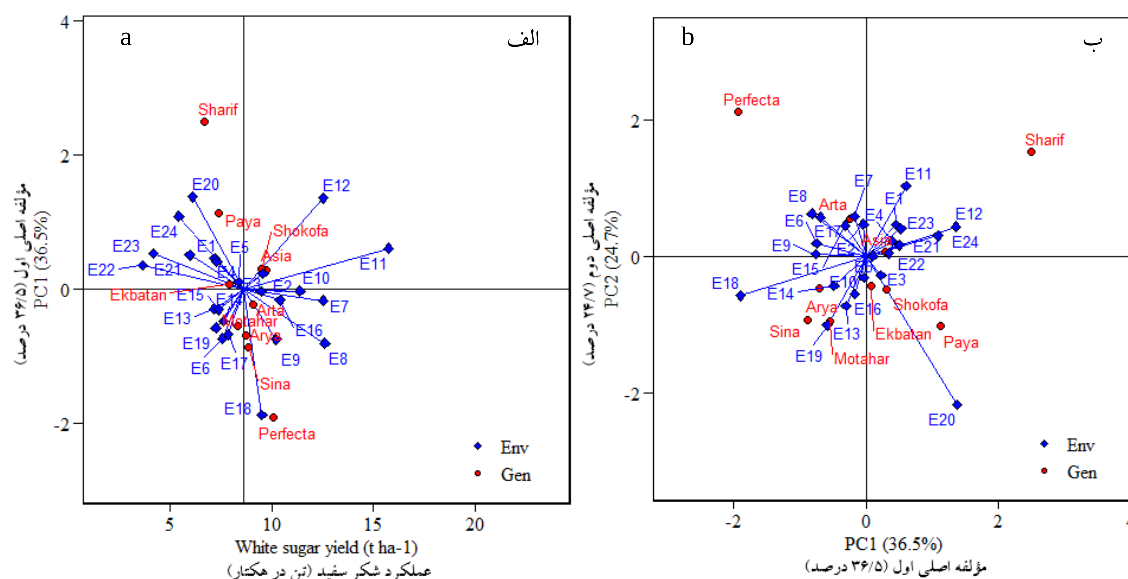
**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

**: Significant at the 1% probability level.

برای ارزیابی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. بای‌پلات مدل AMMI نموداری است که ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها باهم بر روی آن رسم می‌شوند. مزیت این بای‌پلات‌ها این است که روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کند و بر این اساس می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را برای مناطق خاصی معرفی کرد. در شکل ۱الف محور افقی نمایانگر اثر اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد شکر سفید برحسب تن در هکتار و محور عمودی نشانگر اثر برهمکنش ضرب‌پذیر یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط یعنی ضرایب عاملی برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشد (Abamu and Alluri, 1998).

خطی که بر محور عملکرد عمود شده است، میانگین کل ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. این خط ژنوتیپ‌ها را به دو گروه ژنوتیپ‌های با عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین و کمتر از میانگین کل تقسیم می‌کند. طبق این تقسیم‌بندی ارقام

پرفکتا، آسیا، شکوفا، آرتا، سینا و آریا عملکرد شکر سفید بالاتر از میانگین کل و ارقام شریف، پایا، اکباتان و مطهر عملکرد شکر سفید پایین‌تر از میانگین کل داشتند(شکل ۱). خطی که بر محور اولین مؤلفه برهمکنش ژنوتیپ × محیط عمود شده است، نشان‌دهنده مقدار صفر برای اولین مؤلفه یا به بیان بهتر ناحیه عدم وجود برهمکنش ژنوتیپ × محیط است. در مجموع بر طبق بای‌پلات میانگین عملکرد شکر سفید در مقابل اولین مؤلفه اصلی برهمکنش، ژنوتیپی که از لحاظ عملکرد شکر سفید (محور افقی) میزان بیشتر و از نظر مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط (محور عمودی) مقدار پایینی (نزدیک به صفر) داشته باشد، ژنوتیپ مطلوب‌تری خواهد بود. بر این اساس در میان ارقام آزمایشی، آسیا، شکوفا و آرتا به دلیل داشتن عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل و مقدار پایین مؤلفه اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط، تحت عنوان ارقام با عملکرد و پایداری بالا شناخته شدند(شکل ۱ الف). توحیدی و همکاران (Tohidi *et al.*, 2015) از بای‌پلات AMMI به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم در محیط‌های مختلف استفاده کردند و ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه و پایداری عملکرد مطلوب را معرفی نمودند.



شکل ۱- الف): بای‌پلات عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند با مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط (AMMI1) و ب): بای‌پلات مؤلفه اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط با یکدیگر (AMMI2)

Fig. 1. a): Biplot white sugar yield of sugar beet cultivars with first principal component of genotype ×environment interaction (AMMI1) and b): biplot of first and second principal components of genotype × environment interaction (AMMI2)

در شـــکل ۱ب موقعیـــت محیط‌هـــا و ارقـــام چغندرقند با استفاده از مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان داده شـده است. مجموعاً ۶۱/۲۰ درصد تغییرات مربوط به اثر بـرهمکنش ضـرب‌پذیر توسـط ایـن بـای‌پلات توضیح داده شد. بر اساس این بای‌پلات، محیط‌ها و ژنوتیپ‌های نزدیک به مبـدأ بـای‌پلات کمتـرین تأثیر را بر برهمکنش ژنوتیپ × محیط نشان دادنـد، در حالی که محیط‌ها و ژنوتیپ‌های با فاصـله زیـاد از مبـدأ بـای‌پلات بیشـترین تـأثیر را در ایجـاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند.

ارقام شریف، پایا، سینا و پرفکتـا سـازگاری خصوصی نشـان دادنـد، در حـالی کـه رقم‌هـای آسیا، آرتا، شکوفا و اکباتان سـازگاری عمـومی در همـه محیط‌هـا داشـتند. در بـین محیط‌هـای آزمایشـی، محیط‌هـای E11، E12، E20، E19، E18 و E8 با طولانی‌ترین بردارها در مقایسـه بـا محیط‌هـای دیگـر، توانـایی تشـخیص بـالایی را نشان دادند و از این‌رو بیشترین سهم را در ایجاد برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند. صـارمی‌راد و مصـطفوی (Saremirad and Mostafavi, 2021) در بررسـی اثـر بـرهمکنش ژنوتیـپ و محـیط بـر ژنوتیپ‌هـای پنبـه از روش AMMI استفاده کردند و ارقام با عملکرد بالا و پایـداری عملکرد مناسب را شناسایی کردند.

بر اساس تجزیه داده‌های آزمایشـی بـه روش خطی مخلوط، واریانس فنوتیپی عملکـرد شـکر سفید به سه جزء واریـانس ژنـوتیپی، بـرهمکنش ژنوتیـپ × محـیط و باقیمانـده تفکیـک شـد (جدول ۵). نتایج نشان داد که بر اساس آزمـون نسـبت درسـتنمایی، اثـر ژنوتیـپ و بـرهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمـال یـک درصـد معنـی‌دار بـود. معنـی دار بـودن اثـر بـرهمکنش ژنوتیپ × محیط بیانگر پاسخ متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بـود. از ایـن‌رو، در چنـین شرایطی استفاده از تجزیه BLUP می‌تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را بـه همـراه داشـته باشـد (Olivoto *et al*., 2019b).

جدول ۵- برآورد مقادیر مؤلفه‌های واریانس فنوتیپی عملکرد شکر سفید حاصل از مدل خطی مخلوط ارقام چغندرقند

Table 5. Estimation of phenotypic variance components of white sugar yield obtained from linear mixed model for sugar beet cultivars

Component	مؤلفه	واریانس Variance	واریانس توجیه‌شده Explained variance
Genotype	ژنوتیپ	1.04**	22.28
Genotype× Environment	ژنوتیپ × محیط	1.75**	37.42
Residual	باقیمانده	1.88	40.29
Heritability (%)	وراثت‌پذیری (٪)	91.80	-
Accuracy	دقت گزینش	0.96	-
r_{ge}	همبستگی ژنوتیپی در کلیه محیط‌ها	0.48	-

**: Significant at the 1% probability level.

**: معنی دار در سطح احتمال یک درصد.

بیشترین میزان واریانس فنوتیپی (۴۰/۲۹ درصد) به واریانس باقیمانده اختصاص یافت. واریانس اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط و ژنوتیپ به ترتیب با توجیه ۳۷/۴۲ و ۲۲/۲۸ درصد از تغییرات فنوتیپی در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌شود واریانس ژنوتیپی پایین‌ترین سهم را از واریانس فنوتیپی داشت. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد شکر سفید، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند. از آنجایی که نسبت تنوع ژنتیکی به محیطی کمتر است، کارایی گزینش کاهش خواهد یافت و شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب از نامطلوب به شکل صحیح‌تری انجام نخواهد شد (Saremirad *et al.*, 2021). واریانس پایین برهمکنش ژنوتیپ × محیط نسبت به واریانس محیطی مبین تأثیرگذاری کم این اثر بر بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند بود که سبب ایجاد نوسان کمتر عملکرد شکر سفید از محیطی به محیط دیگر شد.

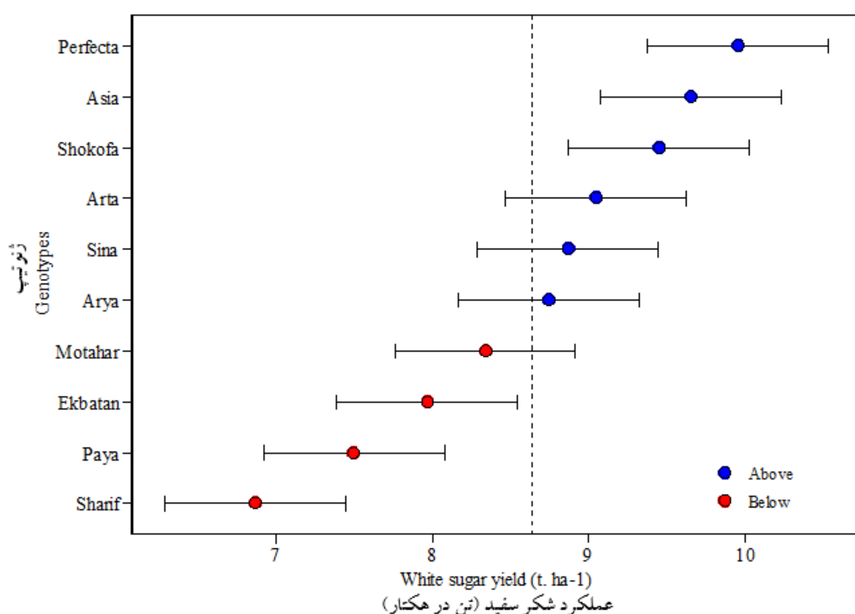
طالقانی و همکاران (Taleghani *et al.*, 2022) در بررسی کشت زمستانه چغندرقند در محیط های مختلف نشان دادند که محیط با توضیح ۷۱/۵۰ درصد از تغییرات مشاهده شده، بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد شکر سفید داشت. پس‌ازآن، ژنوتیپ (۹/۸۰ درصد) بیشترین واریانس توجیه‌شده را دارا بود. سهم برهمکنش ژنوتیپ × محیط ۷/۲۰ درصد از تغییرات مشاهده شده بود. باصفا و طاهریان (Basafa and Taherian, 2016) واریانس توجیه‌شده به‌وسیله برهمکنش ژنوتیپ- محیط برابر با ۷/۸۴ درصد به دست آمد.

نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان داد که عملکرد شکر سفید از وراثت‌پذیری بالایی برخوردار بود (جدول ۵). به عبارت دیگر، بخش اعظمی از تغییرات عملکرد شکر سفید ناشی از تاثیر عامل ژنتیکی یعنی رقم بود. دقت گزینش در محدوده بالا (۰/۹۶) قرار داشت (جدول ۵). این آماره همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد (Olivoto *et al.*, 2019b). دقت گزینش بالای صفات نشان‌دهنده پایایی مدل در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. همبستگی ژنوتیپی بین محیط‌ها پایین بود. همبستگی پایین نشان‌دهنده مشکلاتی در انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد شکر سفید پایدار برتر بود. در این راستا نیاز به اطلاعات و جزئیات دقیق تری برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد (Koundinya *et al.*, 2021).

برآورد وراثت‌پذیری نقش مهمی را در پیشرفت برنامه‌های به‌نژادی در جهت شناسایی و توصیه ژنوتیپ‌ها ایفا می کند (Benakanahalli *et al.*, 2021; Olivoto *et al.*, 2019b). در واقع وراثت پذیری یک مفهوم آماری است که درجه تنوع در یک صفت فنوتیپی را که ناشی از

تنوع ژنتیکی بین افراد است را برآورد. اگر وراثت‌پذیری صفتی کمتر از ۰/۲ باشد نشان‌دهنده وراثت پذیری پایین، اگر بین ۰/۲ تا ۰/۵ باشد دارای وراثت پذیری متوسط و اگر بیش از ۰/۵ باشد از وراثت پذیری بالایی برخوردار است .

میانگین عملکرد شکر سفید پیش‌بینی‌شده ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل BLUP در شکل ۲ ارائه شده است. از مجموع ۱۰ رقم چغندرقند شش رقم دارای میانگین ارزش پیش‌بینی‌شده بالاتر از میانگین بودند که در این میان سه رقم پرفکتا، آسیا و شکوفا دارای بیشترین مقدار میانگین پیش‌بینی‌شده عملکرد بودند (شکل ۲). این برتری آنها را به‌عنوان ارقام مناسب تبدیل کرد. رقم آریا دارای عملکرد پیش‌بینی‌شده بسیار نزدیک به میانگین کل بود. کمترین عملکرد پیش‌بینی‌شده با فاصله زیاد از میانگین کل مربوط به رقم شریف بود (شکل ۲).



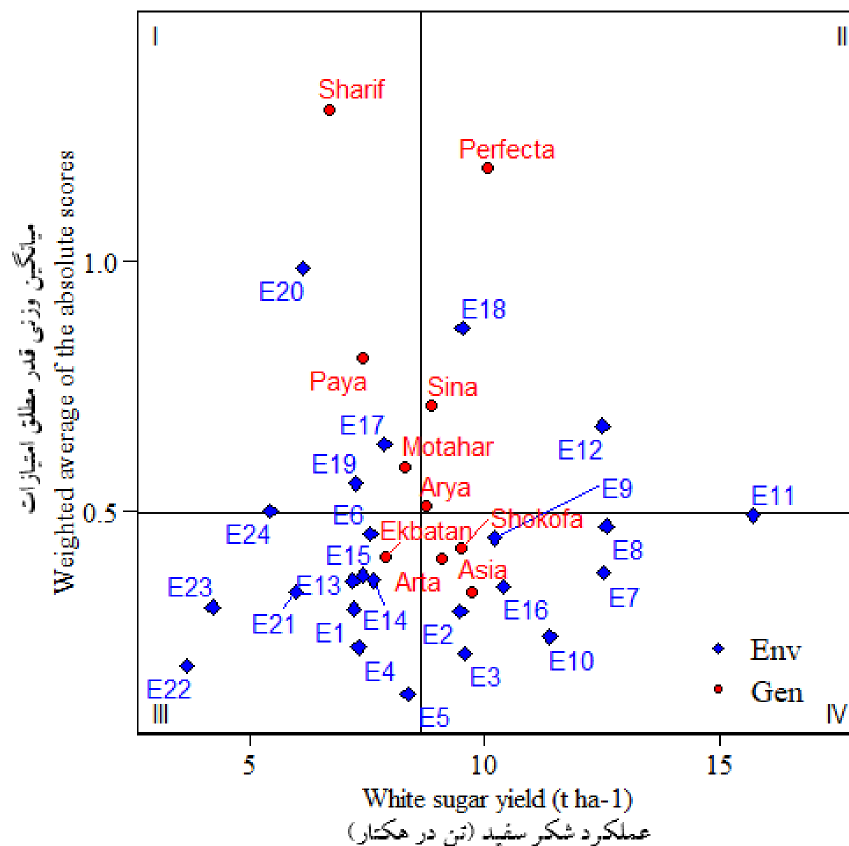
شکل ۲- میانگین عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند بر اساس بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP)

Fig. 2. Average white sugar yield of sugar beet cultivars based on the best linear unbiased predictions (BLUP)

از روش BLUP در ارزیابی پایداری عملکرد گیاهان زراعی مختلفی مانند برنج (Huang *et al.*, 2021)، ذرت (Baretta *et al.*, 2016)، پنبه (Vineeth *et al.*, 2022) و نیشکر (Barbosa *et al.*, 2014) استفاده و نتایج مفیدی به دست آمده است. از مهمترین مزایای روش BLUP می‌توان به برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های خطی مخلوط اشاره کرد (Nardino

et al., 2016; Olivoto *et al.*, 2019a; Olivoto *et al.*, 2019b). علاوه بر این، زمانی که در نتایج اثر خطی مخلوط وجود داشته باشد، روش BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را فراهم می‌سازد (Smith *et al.*, 2005; Piepho *et al.*, 2008).

اگرچه تغییرات ناشی از اثر ارقام را می‌توان با دو مؤلفه اصلی اول برهمکنش ژنوتیپ × محیط حاصل از مدل AMMI توضیح داد، اما امکان دارد برای برخی از ژنوتیپ‌ها، مؤلفه‌های بیشتری نیاز باشد. بنابراین، شاخص WAASB می‌تواند به‌عنوان یک معیار کمی برای برآورد پایداری عملکرد استفاده شود، زیرا این تغییرات را لحاظ می‌کند. شکل ۳ یک بای‌پلات را نشان میدهد که در آن عملکرد شکر سفید در محور افقی و مقادیر شاخص WAASB در محور عمودی قرار دارد.



شکل ۳- بای‌پلات میانگین عملکرد شکر سفید ارقام چغندرقند با میانگین وزنی قدر مطلق امتیازات بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (WAASB)

Fig. 3. Biplot of average white sugar yield of sugar beet cultivars with weighted average absolute scores of the best linear unbiased predictions (WAASB)

در ایــن بــای‌پلات خــط عمــود در میانــه بای‌پلات نشان‌دهنده میانگین کل عملکرد شکر سفید در محیط‌های آزمایشی می‌باشد (شکل ۳). ژنوتیپ‌ها و محیط‌های سمت راست این خط دارای ارزش عملکردی بالاتر از میانگین کل و در مقابل ژنوتیپ‌ها و محیط‌های سمت چپ این خط دارای ارزش عملکردی پایین‌تر از میانگین کل می‌باشند (شکل ۳). محور افقی در میانه بای‌پلات نشان‌دهنده ناحیه میانگین شاخص WAASB است. از تقاطع این محور با محور عمودی (میانگین عملکرد شکر سفید)، بای‌پلات به چهار ناحیه تقسیم می‌شود. ارقام موجود در ناحیه‌های مختلف بای‌پلات را می‌توان بر اساس تناسب آنها با محیط‌های مختلف طبقه‌بندی کرد.

ارقام و محیط‌های واقع در ناحیه اول بای‌پلات شامل رقم‌های شریف، پایا و مطهر و محیط‌های E20، E17، E19 و E24 دارای مقدار WAASB بالا و عملکرد شکر پایین‌تر از میانگین کل بودند که نشان‌دهنده عملکرد بسیار پر نوسان و ناپایدار آنها و ارزش عملکرد کمتر از حد متوسط است. به عبارت دیگر این ارقام و محیط‌ها بیشترین نقش را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط ایفا کردند (شکل ۳). به‌طور کلی این ارقام برای کشت توصیه نمی‌شوند.

ارقام پرفکتا، سینا و آریا و محیط‌های E18 و E12 واقع در ناحیه دوم بای‌پلات دارای WAASB بالا و ارزش عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل بودند. این ارقام اگرچه به شرایط محیطی واکنش نشان داند، اما پتانسیل ژنتیکی خوبی دارند و در صورت مساعد بودن شرایط محیطی، ارزش عملکرد آن‌ها بسیار بالا خواهد بود. این ارقام را می‌توان برای کشت در مناطق با شرایط ایده‌آل برای رشد و نمو چغندرقند توصیه کرد. به عبارت دیگر ارقام و محیط‌های ناحیه دوم نیز مانند ناحیه اول بیشترین نقش را در برهمکنش ژنوتیپ × محیط داشتند، اما عملکرد شکر آن‌ها مطلوب بود. بنابراین به محیط‌های واقع در ناحیه دوم باید توجه ویژه شود، زیرا تولید بالاتر از حد متوسط و پتانسیل ژنتیکی بالای ارقام را ارائه می‌کنند.

رقم اکباتان و محیط‌های E5، E22، E4، E1، E23، E21، E13، E14، E15 و E6 در ناحیه سوم بای‌پلات قرار گرفتند (شکل ۳). این رقم و محیط‌های مذکور از شاخص WAASB کمتری برخوردار بودند که نشان‌دهنده پایداری عملکرد یا عدم تأثیرپذیری آنها از شرایط محیطی بود. رقم اکباتان در عین حال ارزش عملکردی پایینی نشان داد. به بیان دیگر، در این بخش، رقم اکباتان عملکرد پایین و پایداری عملکرد بالایی داشت. از طرفی محیط‌های این بخش در کنار کارایی پایین، به دلیل داشتن کمترین مقادیر WAASB در بین کلیه محیط‌ها، قابلیت تفکیک کمتری نشان دادند (شکل ۳).

در نهایت ارقام آسیا، آرتا و شکوفا و محیط‌های E3، E10، E2، E16، E7، E9، E8 و E11 واقع در ناحیه چهارم بای‌پلات دارای مقادیر شاخص WAASB پایین و ارزش

عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل بودند (شکل ۳). ارقام قرارگرفته در این ناحیه بای‌پلات به دلیل تأثیرپذیری پایین از شرایط محیطی و عملکرد مناسب، تحت عنوان ارقام با عملکرد با پایداری عملکرد مطلوب شناخته می‌شوند. محیط‌هایی که در ناحیه چهارم قرار گرفتند، در بین ۲۴ محیط آزمایشی از ظرفیت تولید شکر سفید بالا و مقادیر WAASB پایین برخوردار بودند (شکل ۳).

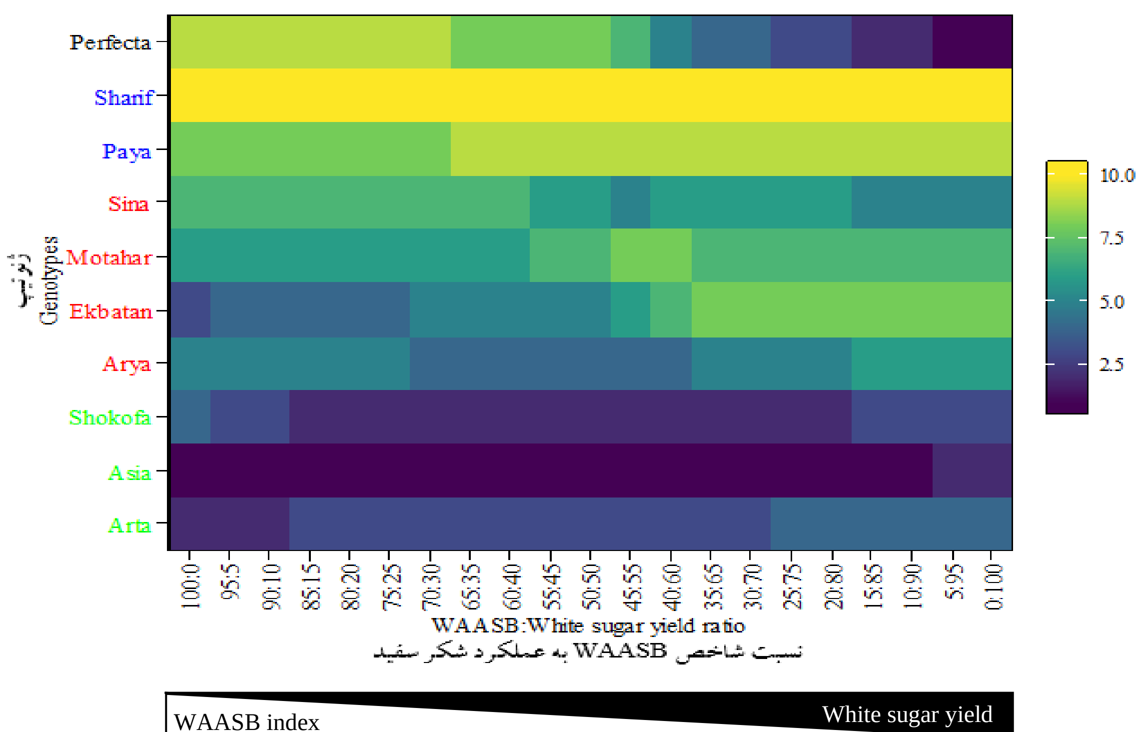
به‌طور کلی می‌توان میانگین عملکرد شکر سفید در برابر شاخص WAASB را به این شکل ساده‌تر نیز تفسیر کرد که ارقام با شاخص WAASB صفر یا نزدیک به صفر دارای عملکرد شکر سفید پایدار تر بودند (شکل ۳). بنابراین از نظر عملکرد شکر سفید رقم‌های آسیا، آرتا، اکباتان و شکوفا دارای اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط پایین و پایداری عملکرد بالایی بودند. اما رقم ایده‌آل رقمی است که شاخص WAASB آن صفر یا نزدیک به صفر و مقدار ارزش عملکرد شکر بالاتر از میانگین کل داشته باشند. رقم‌های آسیا، آرتا و شکوفا علاوه بر پایداری عملکرد شکر سفید، ارزش عملکرد شکر سفید بیشتر از میانگین کل داشتند. بنابراین، به‌عنوان ارقام عملکرد و پایداری عملکرد شکر سفید مطلوب شناسایی شدند.

مزیت استفاده از شاخص WAASB که بر اساس تجزیه AMMI بر روی ماتریس حاصل از روش BLUP محاسبه می‌شود، این است که برخلاف مدل AMMI که تنها اولین مؤلفه اصلی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را در نظر می‌گیرد، شاخص WAASB پایداری عملکرد را بر اساس امتیازات مؤلفه‌های اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط بیان می‌کند. بنابراین، شاخص WAASB کل واریانس برهمکنش ژنوتیپ × محیط را در شناسایی ژنوتیپ‌های درای پایداری عملکرد لحاظ میکند. از آنجایی که اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ × محیط نزدیک به ۳۶ درصد تغییرات اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را توضیح داد، نقش بیشتری را در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها در برآورد شاخص WAASB ایفا کرد. بنابراین، همین امر سبب شده است تا نتایج بای‌پلات AMMI1 و WAASB تا حدودی به یکدیگر شباهت داشته باشند.

پیشنهاد می‌شود، بویژه هنگامی که تعداد مؤلفه اصلی اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط معنی‌دار زیاد بود و اولین مؤلفه نتوانست بخش عمده ای از این اثر برهمکنش را توضیح دهد، از شاخص WAASB استفاده شود، زیرا این شاخص می‌تواند واریانس اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط را به‌صورت کامل در شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایدار اعمال کند. بنابراین، همان‌طور که پیشتر نیز ثابت شده است (Piepho, 1994) می‌توان بیان کرد که روش BLUP می‌تواند در تجزیه و تحلیل داده‌های محیطی مفید باشد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد شکر سفید و پایداری آن، ارقام چغندقند از نظر امتیازهای

شاخص WAASBY رتبه‌بندی شدند (شکل ۴). امتیازهای شاخص WAASBY با در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگونی از شاخص WAASB و عملکرد شکر سفید در قالب نمودار حرارتی ترسیم شد(شکل ۴). رتبه‌بندی ارقام چغندرقند با شاخص WAASBY می‌تواند با توجه به اینکه چه نسبتی از شاخص WAASB و عملکرد شکر سفید در نظر گرفته شود، متغیر باشد. اولین جزء (سمت چپ خط مورب) محور نسبت شاخص WAASB به عملکرد شکر سفید (WAASB/White sugar yield ratio) به پایداری عملکرد و دومین جزء (سمت راست خط مورب) به عملکرد شکر سفید مربوط می‌شود. بنابراین در رتبه‌بندی ارقام چغندرقند نسبت ۰ :۱۰۰متعلق به پایداری محیط و نسبت ۱۰۰ :۰ متعلق به عملکرد شکر سفید است. در واقع در این نمودار به ازای حرکت یک واحد از سمت چپ به سمت راست، پنج درصد از جز پایداری عملکرد کاسته شده و به‌جزء عملکرد شکر سفید افزوده می‌شود، به‌طوری که در انتها رتبه‌بندی ارقام تنها بر اساس عملکرد شکر سفید (۱۰۰:۰)) رتبه بندی شد (شکل ۴).

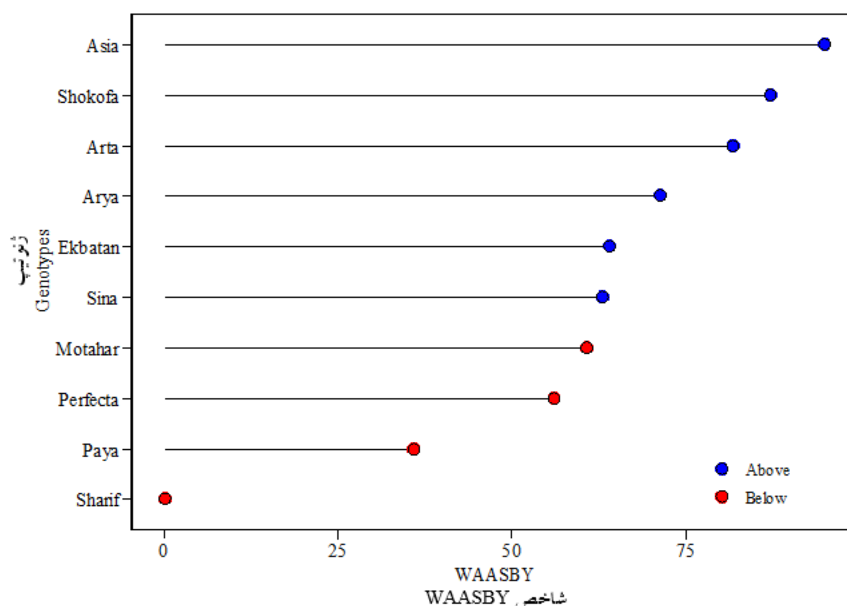


شکل ۴- رتبه‌بندی ارقام چغندرقند بر اساس نسبت‌های مختلف عملکرد شکر سفید و شاخص WAASB

Fig. 4. Ranking of sugar beet cultivars based on different WAASB: white sugar yield ratios

بـر اسـاس امتیازهـای شـاخص WAASBY ارقام چغندرقند در چهار گروه طبقه‌بنـدی شـدند. گروه اول (سبزرنگ) متشکل از رقم‌هـای آرتـا، آسیا و شـکوفا بودنـد. ارقـام ایـن گـروه بـه‌عنوان ارقام با عملکرد و پایـداری عملکـرد شـکر سـفید مطلـوب شـناخته شـدند (شـکل ۴). ارقـام آریـا، اکباتـان، مطهـر و سـینا گـروه دوم (قرمزرنـگ)، دارای عملکرد نامطلوب و ناپایـدار بودنـد. گـروه سوم (آبی‌رنگ) شامل ارقام پایا و شریف بود که عملکرد شکر سفید مطلوب اما ناپایـدار داشـتند. در مقابل این گروه، رقم پرفکتـا درگـروه چهـارم (مشکی‌رنگ) قرار داشت. این رقم عملکرد شکر نامطلوب اما پایدار داشت (شکل ۴).

در شـکل ۵ امکـان رتبه‌بنـدی و گـزینش همزمـان ارقـام بـر اسـاس نسـبت ۵۰: ۵۰ بـرای شـاخص پایـداری WAASB و عملکـرد شـکر سـفید فـراهم شـد. دایره‌هـای آبـی نشـان‌دهنده شاخص WAASBY بالاتر از میانگین عملکـرد شکر سـفید کـل و دایره‌هـای قرمـز نشـان‌دهنده شـاخص WAASBY پـایین‌تر از میـانگین کـل است (شکل ۵). بر این اسـاس شـش رقـم آسـیا، شـکوفا، آرتـا، آریـا، اکباتـان و سـینا شـاخص WAASBY بـالاتر از میـانگین داشـتند کـه در میان آنها رقم آسیا شـاخص WAASBY بـالا و پس از آن شکوفا و آرتا در رتبه های بعدی قرار گرفتنـد (شـکل ۵). بـر ایـن اسـاس ارقـام آسـیا، شکوفا و آرتا به‌عنوان ارقام عملکرد شکر سـفید و پایداری علکرد بالا شناخته شدند.



شکل ۵- شاخص WAASBY برآورد شده از نسبت ۵۰: ۵۰ عملکرد شـکر سـفید و شـاخص WAASB برای ارقام چغندرقند

Fig. 5. WAASBY index estimated from 50: 50 ratio of white sugar yield and WAASB index for sugar beet cultivars

بر اساس نتایج، آثار جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر مدل AMMI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما از آنجایی که در مدل خطی مخلوط نیز اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، بنابراین مدل AMMI نمی‌تواند به‌تنهایی در تجزیه ساختار مدل خطی مخلوط موفق عمل کند. در چنین شرایطی استفاده از روش BLUP، با توجه به کارایی بالای آن در برآورد میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در مدل‌های مخلوط، می‌تواند نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه داشته باشد. با این وجود، ادغام قدرت روش AMMI و دقت پیش‌بینی روش BLUP این امکان را فراهم کرد تا ضمن برطرف شدن محدودیت‌های مدل AMMI، پایداری ژنوتیپی عملکرد شکر سفید و برهمکنش ژنوتیپ × محیط مشتق شده از مدل خطی مخلوط در قالب شاخص WAASB تحت بررسی قرار گیرد و نمایی کاملتر از برهمکنش ژنوتیپ × محیط برای ارقام چغندرقند آشکار کند.

از آنجایی که لازم است هر دو ویژگی عملکرد شکر سفید و پایداری آن در گزینش و شناسایی ارقام برتر مدنظر قرار گیرد تا علاوه بر کاهش اثر برهمکنش ژنوتیپ × محیط، ارقام با پتانسیل عملکرد و پایداری عملکرد بالا گزینش شوند. بنابراین، استفاده از شاخص WAASBY نتایج سودمندی به همراه داشت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده محیط و برهمکنش آن با ساختار ژنتیکی ارقام چغندرقند، نقش بسزایی بر بیان فنوتیپی عملکرد شکر سفید داشت و سبب شد که ارقام با توجه به شرایط محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را از نظر عملکرد شکر سفید و پایداری آن نشان دهند. در مجموع رقم آسیا و پس از آن شکوفا و آرتا به‌عنوان ارقام با عملکرد شکر سفید بالا و پایدار شناخته شدند.

سپاسگزاری

نگارندگان بدین وسیله از مدیریت و کارکنان مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقند و ایستگاه‌های تحقیقاتی که در اجرای این پژوهش همکاری کردند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

Abamu, F., and Alluri. K. 1998. AMMI analysis of rainfed lowland rice (*Oryza sativa*) trials in Nigeria. Plant Breeding 117 (4): 395-397.

Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Mahmoudi, K. N., Abedi-Asl, G., Noshabadi, M. R. J., Ahakpaz, F., and Alipour, H. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. Agricultural Water Management 245: 106665. DOI:10.1016/j.agwat.2020.106665.

Annicchiarico, P., Russi, L.و Piano E., and Veronesi, F. 2006. Cultivar adaptation across Italian locations in four turfgrass species. Crop Science 46 (1): 264-272.

Anonymous. 1999. Agribusiness Handbooks. Volume 4. Sugar Beets/ White Sugar.

Arshad, M., Hussain, T., Iqbal M., and Abbas, M. 2017. Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant *S. cerevisiae*. Brazilian Journal of Microbiology 48: 403-409. DOI:10.1016/j.bjm.2017.02.003.

Barbosa, M. H. P., Ferreira, A., Peixoto, L., Resende, M., Nascimento M., and Silva, F. 2014. Selection of sugar cane families by using BLUP and multi-diverse analyses for planting in the Brazilian savannah. Genetics and Molecular Research 13: 1619-1626.

Baretta, D., Nardino M., Carvalho, I. R., de Oliveira, A. C., de Souza, V., and da Maia, L. C. 2016. Performance of maize genotypes of Rio Grande do Sul using mixed models. Científica 44 (3): 403-411.

Bartlett, M. S. 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences 160 (901): 268-282.

Basafa, M., and Taherian, M. 2016. Analysis of stability and adaptability of forage yield among silage corn hybrids. Journal of Crop Breeding 8 (19): 185-191.

Benakanahalli, N. K., Sridhara, S., Ramesh, N., Olivoto, T., Sreekantappa, G., Tamam, N., Abdelbacki, A. M., Elansary H. O., and Abdelmohsen, S. A. 2021. A Framework for Identification of stable genotypes based on MTSI and MGDII Indexes: An example in Guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). Agronomy 11 (6): 1221. DOI:10.3390/agronomy11061221.

Cárdenas-Fernández, M., Bawn, M., Hamley-Bennett, C., Bharat, P. K. V., Subrizi, F., Suhaili, N., Ward, D. P., Bourdin, S., Dalby, P. A., Hailes, H. C., Hewitson, P., Ignatova, S., Kontoravdi, C., Leak, D. J., Shah, N., Sheppard, T. D., Ward J. M., and Lye, G. J. 2017. An integrated biorefinery concept for conversion of sugar beet pulp into value-added chemicals and pharmaceutical intermediates. Faraday Discussions 202: 415-431. https://doi.org/10.1039/C7FD00094D.

Cook, D., and Scott, R. 1993. The sugar beet crop: science into practice. Champan and Hall Press. 675 pp.

Dohm, J. C., Minoche, A. E., Holtgräwe, D., Capella-Gutiérrez, S., Zakrzewski, F.,

Tafer, H., Rupp, O., Sörensen, T. R., Stracke, R., Reinhardt, R., Goesmann, A., Kraft, T., Schulz, B., Stadler, P. F., Schmidt, T., Gabaldón, T., Lehrach, H., Weisshaar B., and Himmelbauer, H.,. 2014. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). Nature 505 (7484): 546-549. https://doi.org/10.1038/nature12817.

Duraisam, R., Salelgn K., and Berekete, A. K. 2017. Production of beet sugar and bio-ethanol from sugar beet and it bagasse: a review. International Journal of Engineering Trends and Technology 43 (4): 222-233. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V43P237.

European Commission. 2018. A sustainable bioeconomy for Europe. Strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. Luxembourg. DOI: 10.2777/792130.

European Commission. 2021. Sugar. https:// https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/sugar_en.

FAO. 2021. Crops production and area harvested. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Fathi Sadabadi, M., Ranjbar, G. Zangi, M., Tabar S., and Zarini, H. N. 2018. Analysis of stability and adaptation of cotton genotypes using GGE biplot method. Trakia Journal of Sciences 16 (1): 51-61. DOI: 10.15547/tjs.2018.01.009.

Gauch, H. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science Publishers. 278 pp.

Gumienna, M., Szambelan, K., Jeleń H., and Czarnecki, Z. 2014. Evaluation of ethanol fermentation parameters for bioethanol production from sugar beet pulp and juice. Journal of the Institute of Brewing 120 (4): 543-549. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jib.181.

Huang, X., Jang, S. Kim, B. Piao, Z. Redona E., and Koh, H.-J. 2021. Evaluating genotype× environment interactions of yield traits and adaptability in rice cultivars grown under temperate, subtropical and tropical environments. Agriculture 11 (6): 558. DOI: 10.3390/agriculture11060558.

Kang, M. S. 2004. Breeding: genotype by environment interaction. Pp. 218-221. In: Goodman, R. M. (ed.) Encyclopedia of Plant and Crop Science (Print). CRC Press. New York.

Kang, M. S. 1997. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. Advances in Agronomy 62 (1): 199-252.

Koundinya, A., Ajeesh, B., Hegde, V., Sheela, M., Mohan C., and Asha, K. 2021. Genetic parameters, stability and selection of cassava genotypes between rainy and

water stress conditions using AMMI, WAAS, BLUP and MTSI. Scientia Horticulturae 281: 109949. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109949.

Kunz, M., Martin D., and Puke, H. 2002. Precision of beet analyses in Germany explained for polarization. Zuckerindustrie 127 (1): 13-21.

Lin, C. and Binns, M. 1988. A method of analyzing cultivar × location × year experiments: a new stability parameter. Theoretical and Applied Genetics 76 (3): 425-430.

Lin, C., Binns M., and Janick J. 2010. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. Plant Breeding Review 12: 271-297.

Macholdt, J., Piepho H.-P., and Honermeier B. 2019. Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: Results from a long-term field experiment. European Journal of Agronomy 102: 14-22.

Mohr, A., and Raman, S. 2013. Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. Energy Policy 63: 114-122.

Mutari, B., Sibiya, J., Gasura, E., Kondwakwenda, A., Matova, P. M., and Chirwa, R. 2022. Genotype × environment interaction and stability analyses of grain yield and micronutrient (Fe and Zn) concentrations in navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under varied production environments. Field Crops Research 286: 108607. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108607.

Nicodème, T., Berchem, T., Jacquet N., and Richel, A. 2018. Thermochemical conversion of sugar industry by-products to biofuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 88: 151-159.

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., and Jost, E. 2019a. Mean performance and stability in multi-environment trials I: combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal 111 (6): 2949-2960. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0220.

Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., and Diel, M. I. 2019b. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. Agronomy Journal 111 (6): 2961-2969. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0221.

Olmos, J. C., and Hansen, M. Z. 2012. Enzymatic depolymerization of sugar beet pulp: Production and characterization of pectin and pectic-oligosaccharides as a potential source for functional carbohydrates. Chemical Engineering Journal 192: 29-36.

Omrani, S., Omrani, A., Afshari, M., Saremirad, A., Bardehji ,S., and Foroozesh, P. 2019. Application of additive main effects and multiplicative interaction and biplot graphical analysis multivariate methods to study of genotype-environment interaction on safflower genotypes grain yield. Journal of Crop Breeding 11 (31): 153-163 (in Persian).

Piepho, H.-P. 1994. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. Theoretical and Applied Genetics 89: 647-654.

Piepho, H.-P., Möhring, J., Melchinger, A., and Büchse, A. 2008. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. Euphytica 161 (1-2): 209-228. DOI:10.1007/s10681-007-9449-8.

Rajabi, A., Ahmadi, M., Bazrafshan, M., Hassani, M., and Saremirad, A. 2022. Evaluation of resistance and determination of stability of different sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genotypes in rhizomania-infected conditions. Food Science & Nutrition 11: 1403-1414. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.3180.

Rodrigues, P. C., Monteiro, A., and Lourenço, V. M. 2016. A robust AMMI model for the analysis of genotype-by-environment data. Bioinformatics 32 (1): 58-66.

Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010. Genetic analysis of oil yield, seed yield, and yield components in rapeseed using additive main effects and multiplicative interaction biplots. Agronomy Journal 102 (5): 1361-1368.

Salazar-Ordóñez, M., Pérez-Hernández, P. P., and M. Martín-Lozano, J. 2013. Sugar beet for bioethanol production: An approach based on environmental agricultural outputs. Energy Policy 55: 662-668.

Saremirad, A., Bihamta, M. R., Malihipour, A., Mostafavi, K., and Alipour, H. 2022. Evaluation of seedling stage resistance of commercial bread wheat cultivars to black rust disease using GGE biplot method. Journal of Crop Breeding 14 (42): 186-196 (in Persian). http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1304-fa.html

Saremirad, A., and Mostafavi, K. 2021. Using AMMI and biplot graphical analysis multivariate methods to evaluate the effect of genotype-environment interaction in cotton genotypes. Iranian Journal of Cotton Researches 8 (2): 127-144 (in Persian).. https://doi.org/10.22092/ijcr.2021.353002.1163

Saremirad, A., and Taleghani, D. 2022. Utilization of univariate parametric and non-parametric methods in the stability analysis of sugar yield in sugar beet (*Beta*

vulgaris L.) hybrids. Journal of Crop Breeding 14 (43): 49-63 (in Persian). http://jcb.sanru.ac.ir/article-1-1324-en.html.

Smith, A., Cullis, B. R., and Thompson, R. 2005. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. The Journal of Agricultural Science 143 (6): 449-462.

Taleghani, D., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Ahmadi, M., Hamidi, H., and Nemati, R. 2022. Genotype × environment interaction effect on white Sugar yield of winter-sown short-season sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. Seed and Plant Journal 38 (1): 53-69 (in Persian). https://doi.org/10.22092/spj.2022.360021.1275.

Tohidi, B., Mohammadi-Nejad, G., Nakhoda, B., and Saboori, H. 2015. Evaluation of grain yield stability of recombinant inbred lines in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) based on AMMI method. Journal of Plant Production 22 (2): 189-202.

Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berlowska, J., Dziugan, P., Piotrowski, J., Stanishevsky, A., and Witońska, I. A. 2018. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. RSC Advances 8 (6): 3161-3177. DOI: 10.1039/C7RA12782K.

Vineeth, T., Prasad, I., Chinchmalatpure, A. R., Lokeshkumar, B., Kumar, S., Ravikiran, K., and Sharma, P. C. 2022. Weighted average absolute scores of BLUPs (WAASB) based selection of stable Asiatic cotton genotypes for the salt affected Vertisols of India. Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 82 (01): 104-108.

Yan, W., and Kang, M. S. 2002. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC press. 288 pp. https://doi.org/10.1201/9781420040371.

Zobel, R. W., Wright, M. J., and Gauch Jr., H. G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80 (3): 388-393.

Evaluation of White Sugar Yield Stability of Some Commercially Released Sugar Beet Cultivars in Iran from 2011-2020

S. Sadeghzadeh Hemayati[1], A. Saremirad[2], M. Hosseinpour[3], A. Jalilian[4], M. Ahmadi[5], H. Azizi[6], H. Hamidi[7], F. Hamdi[8] and F. Matloubi Aghdam[9]

1. Associate Professor, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
2, 8 and 9. Researcher, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
3. Assistant Professor, Sugar Beet Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.
4. Associate Professor, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kermanshah, Iran.
5. Associate Professor, Khorasan-e-Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.
6. Assistant Professor, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran.
7. Researcher, Khorasan-e- Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

ABSTRACT

Sadeghzadeh Hemayati, S., Saremirad, A., Hosseinpour, M., Jalilian, A., Ahmadi, M., Azizi, H., Hamidi, H., Hamdi, F., and Matloubi Aghdam, F. 2022. Evaluation of white sugar yield stability of some commercially released sugar beet cultivars in Iran from 2011-2020**. Seed and Plant Journal 38:** 339 -364 (in Persian).

High yield and yield stability across a range of environmental conditions is one of the main objectives of crop breeding programs. In this study, white sugar yield stability of nine sugar beet cultivars commercially released in Iran from 2011 to 2020 with an introduced foreign cultivar as check was evaluated using randomized complete block design with four replications in six research field stations; Karaj, Ardabil, Kermanshah, Mashhad, Moghan, Miandoab, in four cropping seasons 2017-2021. The combined analysis of variance revealed that effects of genotype, year, location, and year × location, genotype × year, genotype × location and genotype × year × location were significant ($p \leq 0.01$) on white sugar yield. Analysis of genotype × environment interaction showed that the first seven components were significant ($p \leq 0.01$). Based on AMMI1 analysis, cv. Asia, cv. Shokoufa and cv. Arta had white sugar yield stability. Linear mixed model analysis showed that the effects of genotype and genotype × environment interaction were significant ($p \leq 0.01$) on white sugare yield. Based on the BLUP method, cv. Perfecta, cv. Asia and cv. Shokoufa had the highest predicted mean value of white sugar yield. Biplot of white sugar yield with the WAASB index showed that cv. Asia, cv. Arta and cv. Shokoufa had higher sugar yield as well as higher white sugar yield stability. Ranking of sugar beet cultivars based on WAASB/white sugar yield ratio identified cv. Arta, cv. Asia and cv. Shokoufa as high yielding with white sugar yield stability. Simultaneous ranking and selection of cultivars based on 50:50 WAASB/white sugar yield ratio resulted the same. Therefore, cv. Asia followed by cv. Shokoufa and cv. Arta had relatively higher WAASBY indices. Considering the results of this study, cv. Asia, cv. Shokoufa and cv. Arta were identified as high yielding with higher white sugar yield stability.

Keywords: Sugar beet, likelihood test ratio, linear mixed model, simultaneous selection, principle component.

***Corresponding author:** s.sadeghzadeh@areeo.ac.ir **Tel.:** +982632702613

Received: 29 July 2022
Accepted: 06 October 2022